

Análisis de residuos de construcción y demolición (RCD) para su reutilización en obras de ingeniería civil.

Analysis of construction and demolition waste (RCD) for reusing in civil engineering works.

José Leonardo Sánchez Mondragón

Universidad Santo Tomás, Tunja, Colombia

Correo-e: Leonardo.sanchez@usantoto.edu.co

Resumen

El tema de la construcción genera muchos proyectos y obras civiles a diario y cada vez más el ser humano busca mediante su ingenio diseñar edificaciones, estructuras que le permitan vivir siempre con una mejor calidad de vida; quizá por la globalización y el continuo auge de la tecnología que constantemente evoluciona sin parar. Sin embargo, este tipo de actividades llevan consigo en su proceso, material sobrante (escombros) denominados residuos de construcción y demolición (RCD), de aquí se deriva un factor muy habitual e inevitable que hace referencia a la contaminación, sobre todo un problema de tipo ambiental y social, cuando no se hace una gestión adecuada y correspondiente. En esta investigación se analizó la importancia y el impacto que tienen los residuos de construcción y demolición (RCD) en el medio ambiente, basados en toda la información adquirida a través de una revisión bibliográfica acerca de ensayos, pruebas de laboratorio y procesos experimentales con referencia a los usos y tratamientos de estos materiales. Analizando su caracterización desde el punto de vista morfológico, físico, químico y mineralógico se observó las ventajas que se obtienen de reciclar y reutilizar estos materiales mediante su transformación y adición en la creación de nuevos productos para la construcción de tradicionales y modernas estructuras. De acuerdo con esto es importante mencionar que se debe recurrir a la construcción sostenible para aprovechar todos estos materiales involucrados, que en su mayoría pueden reutilizarse y reciclarse. El gran impacto que proveen los RCD necesitan de una buena planificación ya que intervienen factores como el económico, social y por supuesto el ambiental; siendo este último el más delicado por el mundo en que vivimos y su calentamiento global.

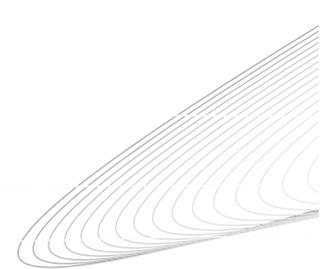
Palabras clave: DRX, escombros, FRX, MEB, obra civil, reciclaje, residuos de construcción y demolición RCD, sostenibilidad ambiental.

Abstract

The construction generates many projects and civil works on a daily basis and, increasingly, the human being seeks through their ingenuity to design buildings, structures that allow you to live always with a better quality of life; perhaps by globalization and the continued technology boom that constantly evolves without stopping. However, this type of activities, carry in their processes, excess material (debris) called construction and demolition wastes (CDW), here is derived from a quite common and inevitable factor that refers to pollution, especially a problem of environmental and social type, when not in proper management and concerned. This research analyzed the importance and the impact of the CDW on the environment. Based on all the information gained through a bibliographic review about tests, laboratory tests and experimental processes with reference to the uses and new treatments for these materials. By analyzing their characteristics from a morphological, physical, chemical, and mineralogical noted the benefits of recycling and reusing these materials through its transformation and adding in the creation of new products for the construction of traditional and modern structures. Also, is important to mention that recourse must be had to sustainable construction to take advantage of all these materials involved, most of which can be reused and recycled. The great impact that provides the CDW needs good planning as factors such as the economic, social, and environmental, of course; the latter being the more delicate because the world in which we live, and it is global warming.

Key Word — X-ray diffraction, Debris, XRF, SEM civil works, recycling, construction, and demolition waste CDW, environmental sustainability.

Para citar este artículo: Sánchez-Mondragón, J.L. Análisis de residuos de construcción y demolición (RCD) para su reutilización en obras de ingeniería civil." In L'Esprit Ingenieur. Vol. 11-1, p.p 50-72.



1. INTRODUCCIÓN

El hombre ha evolucionado con el tiempo y su forma de procesar y transformar la naturaleza, es por ello que una gran parte de los residuos sólidos que genera constituyen los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) (Yazdanbakhsh, 2018), dado su afán y búsqueda de todos los recursos posibles para la producción y materialización de innumerables materiales, que compensen sus necesidades más importantes, como donde vivir, comer, subsistir a su entorno, crear herramientas etc. (Mejía Restrepo, Osorno Bedoya, & Osorio Vega, 2015).

A nivel mundial en todos los países desarrollados y subdesarrollados, existe una problemática que afecta al medio ambiente y la cual consiste en la cantidad de todos los (RCD) que la industria de la construcción civil y pública genera a diario; su mala gestión y disposición impacta significativamente sobre todo las áreas urbanas donde se desarrolla esta actividad. (Blaisi, 2019) Por ejemplo, en Europa es común que este tipo de residuos constituyan una gran proporción de todos los residuos aledaños en este continente, quizá por sus formaciones rocosas y tipos de minerales a explotar (Sormunen & Kärki, 2019), la materia prima para explotar en este sector del mundo es abundante a comparación de otros países. Su impacto ambiental puede no ser tan grave y específico a pesar del gran volumen generado de estos residuos. (Gálvez-Martos, Styles, Schoenberger, & Zeschmar-Lahl, 2018). Dado esto surge la necesidad de manejarlos y gestionarlos de forma adecuada, mediante acciones que permitan la sostenibilidad de las ciudades ya sean de tipo urbano o rural. Este tipo de residuos son la consecuencia de las actividades y obras que desarrolla el gremio de la construcción con respecto a la demolición de edificaciones las cuales han quedado devaluadas o simplemente por la fabricación de otras totalmente nuevas. (Ansari & Ehrampoush, 2018).

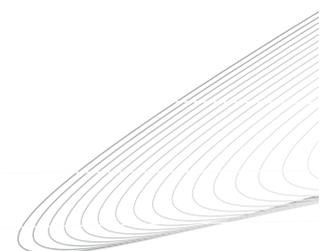
De acuerdo con la generación de estos residuos RCD cabe señalar que no se hallan clasificados en el grupo comprendido de los Residuos Sólidos Urbanos ya que su composición es diferente. (Yang, Xia, Thompson, & Flower, 2017) Cuando se habla de RCD se refiere a residuos inertes los cuales no son peligrosos porque no experimentan transformaciones físicas o químicas; entre ellos se encuentran las tierras y áridos, piedras, restos de hormigón, plástico, madera, aluminio (metal), vidrio, papel y/o cartón e incluidos todos los desechos que se producen por la actividad de la construcción. (Urzola, 2016).

El continuo crecimiento del sector en la construcción ha sido determinante en la generación de demasiadas cantidades de RCD, y debido que no se ha llevado una planificación correcta de este tipo de materiales; su gestión se aleja muchas veces de las normas y correcta disposición (Menegaki & Damigos, 2018), por lo tanto, se evidencia de forma negativa como van a parar a vertederos ilegales, escombreras improvisadas de forma incontrolada. (Guarín Cortés, Montenegro Roa, Walteros Galarza, & Reyes Gómez, 2011) Así de esta manera se sigue contribuyendo al desperdicio, desaprovechando de todo el material potencialmente reutilizable y que se puede reciclar. (Letelier, Osses, Valdés, & Moricom, 2015) Por otra parte, es importante mencionar que al no tener un tratamiento idóneo de todos estos residuos ni tampoco una separación de sus componentes con alto grado de peligrosidad (químicos) es inevitable el impacto que generará sobre el medio ambiente y los ecosistemas como, por ejemplo, la contaminación química sobre el suelo, en las aguas bajo la superficie (subterráneas), ríos, mares, etc., inclusive para la salud humana. (Castaño, Misle Rodríguez, Gómez Cabrera, Lasso, & Ocampo, 2015).

Es por ello que es primordial saber identificar todas las necesidades y preocupaciones presentes en la sociedad a diario, por este problema, con el fin de instituir una cultura plenamente ciudadana que ayude a la sostenibilidad sobre todo medioambiental influyendo en la forma como aprovechamos nuestros recursos naturales de forma responsable. La guerra entre países es un ejemplo claro de generación de RCD por sus atentados, explosiones de diferentes estructuras. (Madi & Srour, 2019) while demands for quarry products are increasing. Proper management and recycling of CDW helps alleviate these problems. This paper proposes a multi-criteria Geographic Information System (GIS) Los residuos de demolición y construcción deben ser una meta enmarcada dentro de una gestión correcta de su uso para la construcción sostenible de las ciudades. (Acosta, 2013).

Generar cada vez más residuos, sobrepasa el espacio que tenemos para su disposición como los depósitos controlados, escombreras autorizadas etc., mediante las plantas de tratamiento y reciclaje es posible su mitigación. (Ulubeyli, Kazaz, & Arslan, 2017) Este tipo de infraestructura permite llevar a cabo una serie de procedimientos y procesos que garantizan el aprovechamiento de este tipo de residuos en casi un 80 %; tener en cuenta que se puede hacer una valorización de estos residuos y de todos los materiales contenidos allí de diferente índole, permite aprovechar de manera positiva este gran porcentaje, se trata de reducir al mínimo todo el material que finalmente o se pueda transformar o asistir. (López, 2010) (Eia, 2016).

Existen técnicas de caracterización de esta clase de residuos que permiten analizarlos más a fondo y desde una perspectiva más detallada teniendo en cuenta sus propiedades físicas, químicas, mineralógicas y morfológicas; estas ayudan a establecer su naturaleza, así como sus posibles aplicaciones. Para la caracterización física se tienen ensayos de granulometría, densidad, porosidad y absorción entre los más importantes. Para el análisis químico existe la Fluorescencia de Rayos X (FRX), que permite el reconocimiento de elementos químicos presentes en el material. En la caracterización mineralógica se determinan los minerales existentes a través de observaciones al microscopio de luz polarizada o por medio de la identificación de las fases cristalinas de los minerales por medio del análisis de laboratorio denominado Difracción de Rayos X (DRX). (Rochavargas, Becerra, Benavente-, & Cañaveras-, 2019). Para la morfología se encuentra la Técnica avanzada de Microscopía Electrónica de Barrido (MEB o por sus siglas en inglés SEM - Scanning Electron Microscope). Este artículo servirá de explicación de algunas de estas técnicas mediante ejemplos de casos de estudio y en los cuales se analizaron de forma comparativa las propiedades más relevantes con respecto a los materiales que se utilizan comúnmente para construcción, además de los derivados o reciclados de ellos RCD. En la Figura 1. se muestra la metodología más relevante y desarrollada en la mayoría de los artículos revisados; como también se hace énfasis en su composición y tratamiento ambiental.



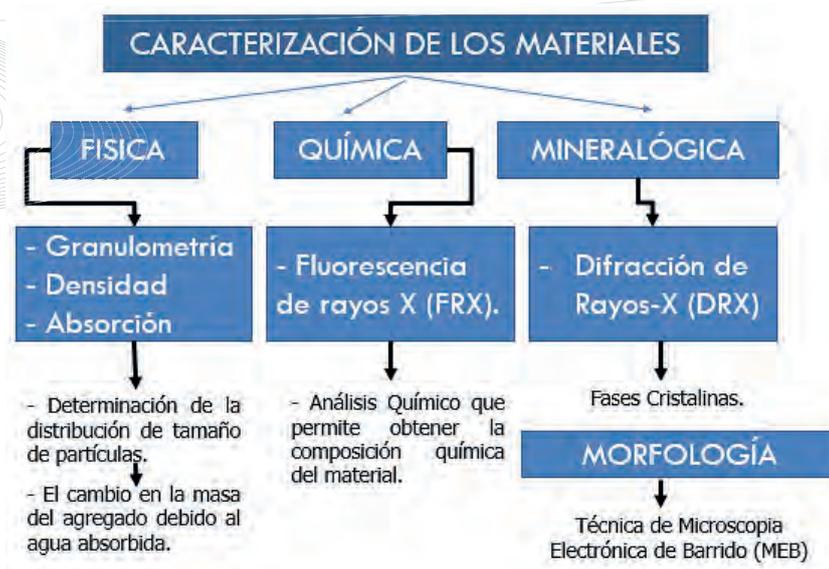


Figura 1. Caracterización de los materiales RCD.
Fuente: Autor.

La composición de los RCD incluye diferentes tipos de materiales que pueden aprovecharse en gran medida y los cuales se presentan a continuación en porcentaje. Ver Figura 2

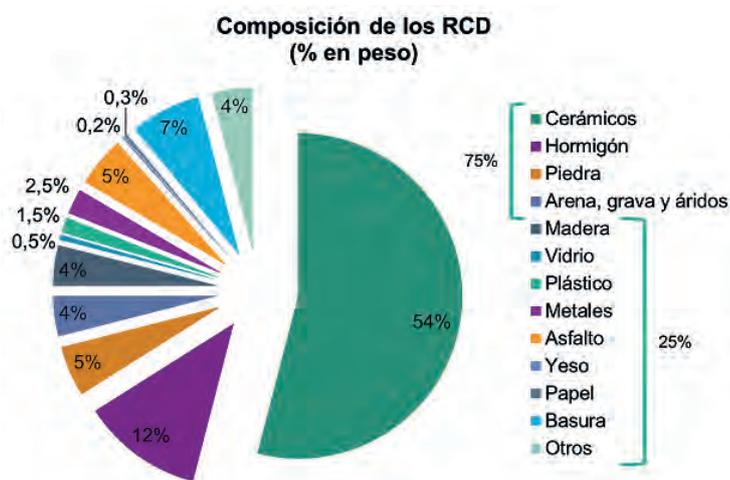


Figura 2. Composición de los RCD (% en peso).

Fuente: Ingeniero Ángel Sánchez Inocencio, ingeniería de edificación, Instituto de Innovación en Arquitectura Eficiente S.L. Universidad de Castilla la Mancha, España. 2015. Tomado de <https://angelsinocencio.com/sobre-mi/>

Adicional a esto es indispensable tener en cuenta el tratamiento ambiental que se le puede dar a estos residuos RCD por medio de las plantas de tratamiento y procesamiento y el cual podemos detallar en forma de ciclo en la Figura 3.



Figura 3. Caracterización de los materiales RCD.
Fuente: J. O. Castaño et al., Bogotá. 2015.

2. CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y MECÁNICA

Cuando se habla de caracterización física y mecánica de los materiales se hace referencia a la manera de identificar y medir las propiedades físicas sin afectar la composición o identidad de ellos, mediante ensayos que permitan definir por ejemplo el tamaño, la forma etc. Entre las técnicas de ensayo de laboratorio más destacadas se tienen las siguientes de acuerdo con su normatividad de aplicación:

Tabla 1. Técnicas de ensayo para agregados de los materiales.

ENSAYO	NORMA EMPLEADA
Tamizado de agregados	NTC 77
Mas unitaria de los agregados	NTC 92
Impurezas orgánicas	NTC 127
Densidad, porosidad y absorción de la grava	NTC 176
Densidad, porosidad y absorción de la arena	NTC 237
Contenido de humedad de los agregados	NTC 1776
Coefficiente de los Ángeles	ASTM C131
Coefficiente de forma	UNE – EN 933

Fuente: Autor.

El uso de los RCD en agregados pétreos permite la fabricación de concreto de asfalto y cemento, también para sub-bases y bases de pavimentos. (Sergio Luis Caicedo Campo, 2014) Es de suma importancia estudiar las causas y los mecanismos de alteración que afectan la calidad de los materiales en este tipo de residuos, mediante ensayos y técnicas enfocados a su caracterización, permitiendo así desarrollar las posibles aplicaciones y tratamientos en su uso. El medio ambiente es el principal factor determinante en el deterioro de todas las propiedades que presentan estos materiales y sus modificaciones con el paso del tiempo. Los siguientes

apartados son tomados de un caso de estudio que propone la utilización de los RCD en la fabricación de adoquines como elementos prefabricados y que permiten disminuir un poco el impacto ambiental que genera solo utilizar materiales naturales.



Figura 4. Selección del agregado RCD producido y molido de roca tipo diabásica. Cantera El Chocho en Cali Colombia.

Fuente: Tomado de J. M. P. H. Sergio Luis Caicedo Campo, Cali 2014.

Para la fabricación de elementos prefabricados es importante tener en cuenta el tipo de mezcla ideal que cumpla con todas las especificaciones propuestas y el agregado fino es parte fundamental (Método de Fuller). (Pradhan, Kumar, & Barai, 2019) (Salvador, 2013). Para la fabricación de elementos prefabricados es importante tener en cuenta el tipo de mezcla ideal que cumpla con todas las especificaciones propuestas y el agregado fino es parte fundamental (Método de Fuller). (Pradhan, Kumar, & Barai, 2019) (Salvador, 2013).

En la siguiente comparación podemos analizar la parte granulométrica y su alta importancia en los agregados naturales y los provenientes de los RCD. Tomamos como referencia los agregados finos porque al igual que en una mezcla de concreto, por ser un material compuesto, su constitución está basada en áridos gruesos y una matriz de mortero con agregados finos.

Tabla 2. Granulometría agregado fino natural.

Abertura Del Tamiz		Peso Retenido (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje pasa (%)
Pulgadas	mm				
No.4	4,75	0	0	0	100
No.8	2,36	307	30,7	30,7	69,3
No.16	1,18	394,13	39,42	70,12	29,88
No.30	0,6	99	9,9	80,02	19,98
No. 50	0,3	106,2	10,62	90,64	9,36
No. 100	0,15	48,29	4,83	95,47	4,53
No. 200	0,075	45,29	4,53	100	0
Fondo	0	0	0	100	0
Total		999,905	100		

Fuente: tomado de J. M. P. H. Sergio Luis Caicedo Campo. Cali, 2014.

Cuando se refiere al tamaño, los agregados presentan una clasificación en dos grandes grupos: los agregados finos y los agregados gruesos. Los de tipo fino los forman las arenas naturales con tamaños de partícula que van desde 5 mm hasta mayores de 60 μm ; los de tipo grueso los conforman aquellos cuyas partículas son mayores a 5 mm y hasta 125 mm. (Xu, 2018).

Tabla 3. Granulometría agregado fino RCD.

Abertura Del Tamiz		Peso Retenido (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje pasa (%)
Pulgadas	mm				
No.4	4,75	0	0	0	100
No.8	2,36	157,26	15,76	15,76	84,24
No.16	1,18	164,02	16,43	32,19	67,81
No.30	0,6	288,69	28,93	61,12	38,88
No. 50	0,3	298,37	29,9	91,02	8,98
No. 100	0,15	72,47	7,26	98,28	1,72
No. 200	0,075	16,03	1,61	99,88	0,12
Fondo	0	1,55	0,16	100,04	0
Total		998,39	100		

Fuente: Tomado de J. M. P. H. Sergio Luis Caicedo Campo. Cali, 2014.

Las tablas nos permiten evidenciar que con respecto al agregado fino (porcentaje retenido) el material RCD posee partículas con un diámetro mucho menor en comparación al material natural escogido y estos datos son confirmados con la curva granulométrica (Figura.2). La diferencia de tamaños de las partículas incide en la manejabilidad de la mezcla haciéndola más cohesiva. De aquí viene la importancia de que el material sea altamente cohesivo; dado que la cohesión en si se refiere a la adherencia entre las partículas e influye en la resistencia al cortante del mismo.

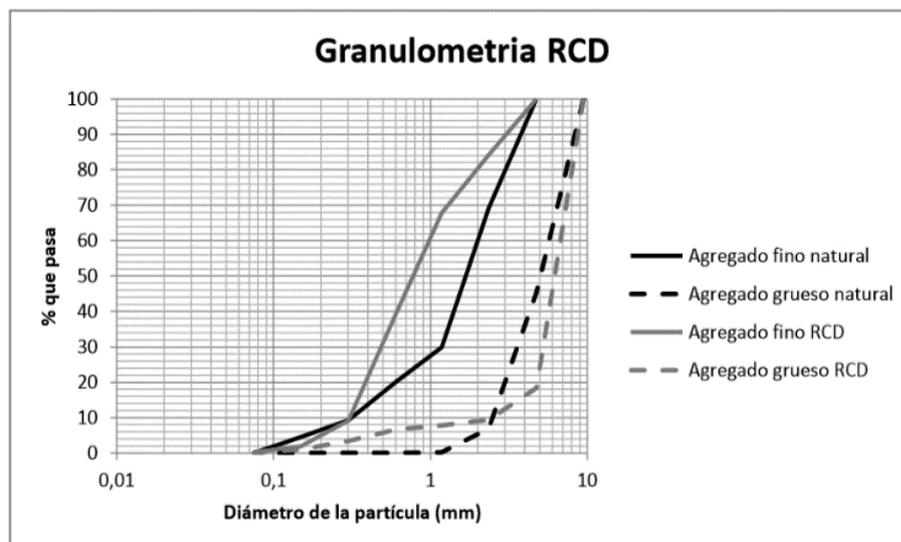


Figura 5. Curva Granulométrica agregado natural y RCD.

Fuente: tomado de J. M. P. H. Sergio Luis Caicedo Campo. Cali, 2014.

Teniendo en cuenta los resultados anteriores de laboratorio y según autores como Enrique Rivva (Enrique Rivva López, 2000) plantea que el agregado fino de un material en particular requiere de una menor cantidad de de mezclado porque así causa un efecto mayor en las proporciones o cantidades en comparación al agregado grueso. (Montero & Laserna, 2017). Realizar una buena granulometría de este árido fino es determinante por su necesidad de agua más que por su adaptación física. Además, si relacionamos la granulometría con el Ensayo de abrasión de los Ángeles tiene sentido ya que este método también es muy importante si se quiere determinar las propiedades mecánicas y también físicas de los áridos y su resistencia a la fragmentación. (Guo, Markine, Song, & Jing, 2018).

La absorción y humedad también es parte fundamental de los agregados, porque la determinación de estos ensayos influye en los materiales al nivel de poder manejar y controlar la cantidad de masa en la mezcla. (Álvarez, Martínez, & Guerra, 2017) Las partículas de un agregado tienen una estructura interna la cual está formada por materia sólida porosa que ayuda a retener y contener el agua según el caso. Por ejemplo, hay condiciones particulares de humedad en las cuales se puede encontrar el estado de un agregado:

Cuando está seco significa que ningún poro contiene agua.

Si el material está húmedo, pero no saturado significa que algunos poros retienen agua.

Si el material está saturado y seco en la superficie quiere decir que todos los poros contienen agua, pero está seco en su superficie, y finalmente si el material es húmedo sobresaturado se evidencia que todos los poros contienen agua incluida la superficie. He aquí algunos ejemplos de morfología donde se muestra la forma, tamaño y porosidad de un agregado RCD. Ver Figuras 6 y 7.

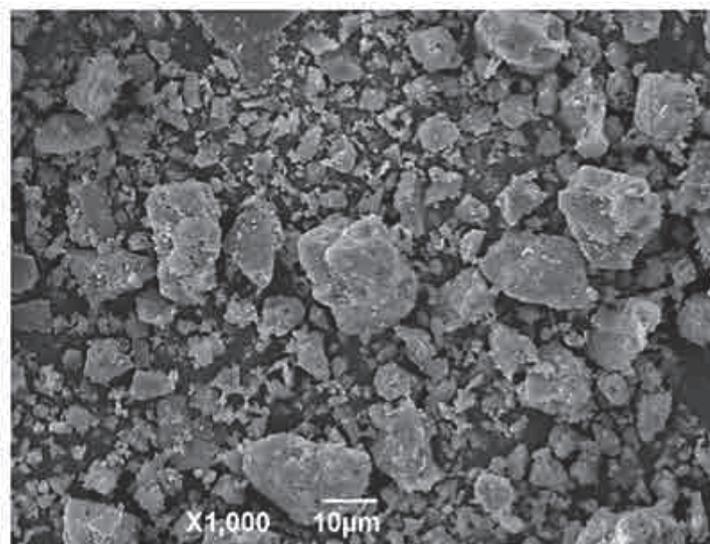


Figura 6. Caracterización morfológica del residuo RCD.

Fuente: Tomado de Y. Silva, R. Robayo, P. Matthey, and S. Delvasto, 2014.

Se definen las características de los agregados de acuerdo a su forma, textura y gradación; tienen gran influencia en la trabajabilidad y en el acabado de los materiales, si nos referimos al concreto afecta en la exudación y en la segregación del mismo. (León & Ramírez, 2010)

Su resistencia también se ve afectada, tanto como la rigidez y otras propiedades como la retracción, la densidad, la permeabilidad y durabilidad.

Utilizando la microscopía óptica de barrido se puede apreciar en la fractografía de la Figura 7. una matriz compacta y uniforme dándonos señales de una porosidad pequeña y según el autor (González, Codirector, & Fernández Martínez, 2015) con una forma redondeada haciendo énfasis en el tamaño adecuado de las poros observados, el cual fue de $70\ \mu\text{m}$ sin variabilidad aunque al menos uno de $140\ \mu\text{m}$.

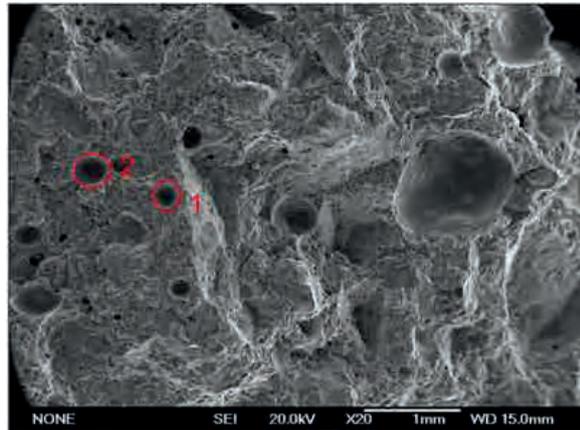


Figura 7. Fractografía realizada a probetas de mortero reciclado RCD
Fuente: Tomado de González, M., Codirector, C., & Fernández Martínez, F. (2015).

En lo que respecta a este análisis cabe destacar la incidencia que tienen los poros en el material y más aun de tipo RCD porque como se ha mencionado anteriormente la calidad del material se verá afectada ya que esto tiene que ver con factores como la absorción y permeabilidad.

3. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

Caracterizar un material de este tipo es obtener información acerca de su composición química con base en resultados cualitativos. Identificar los constituyentes de un agregado como los RCD permite evaluar de forma concisa el riesgo de cada uno de estos elementos y su relación en el momento de escoger el mejor para la fabricación de nuevos materiales, y que tan perjudicial o no es con el medio ambiente. (Mattey, Robayo-Salazar, Silva, Álvarez, & Delvasto, 2014). Entre los análisis químicos practicados a los materiales de RCD tenemos la Fluorescencia de Rayos X (FRX), este análisis permite obtener la composición química del material.

Teniendo en cuenta la técnica de Fluorescencia de Rayos X (FRX), es posible obtener información detallada tanto cualitativa de la muestra, como cuantitativa. Esto quiere decir, que se puede saber qué elementos conforman la muestra y la concentración de los mismos. A continuación, una breve explicación de su funcionamiento.

Básicamente se observa en la Figura 8. cómo se establece un espesor dx que se ubica a una profundidad x de la superficie de la muestra a tratar con una densidad ρ ; la cual será golpeada con una radiación incidente de rayos X para que posteriormente se aplique otra radiación secundaria fluorescente de radiación X, esto con el fin de excitar la muestra con una intensidad I_0 y una respectiva longitud de onda λ . (Ismael Fuente Merino,

2015)"type": "article-journal"}, "uris": [{"http://www.mendeley.com/documents/?uuid=3a4649ad-7e3f-44e4-90f5-1fdc83013639"}], "mendeley": {"formattedCitation": "(Ismael Fuente Merino, 2015).

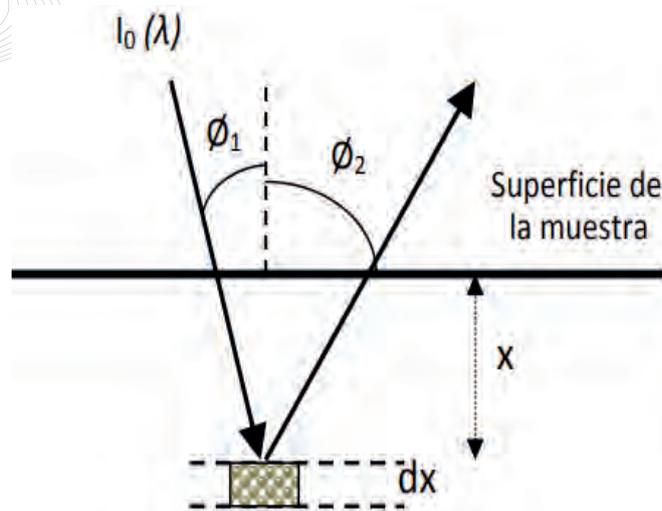


Figura 8. Esquema del proceso de Fluorescencia de Rayos X (FRX)
Fuente: Tomado de (Ismael Fuente Merino, 2015)

Luego de esto la radiación viaja desde la profundidad x hasta la superficie de la muestra y pasa al detector el cual analizará los datos y concluirá precisando los tipos de elementos y su concentración exacta en la muestra. Entender porque es importante saber la composición química de un material ayuda a verificar que tipos de elementos sobre todo óxidos están presentes y en la cantidad de porcentaje dada su materia homogénea. La presencia de silicio en nuestro planeta representa una alta cantidad que lo posiciona como el segundo elemento de la tabla periódica que más predomina en el planeta Tierra, pero sobre todo en la corteza terrestre y por ende está inmerso en todos los materiales.

En la siguiente comparación de casos de estudio relacionados con las adiciones y/o modificaciones del concreto y su mezcla (Silva, Robayo, Matthey, & Delvasto, 2014) Colombia, produce aproximadamente 15 million cubic meters each year of debris from construction. Therefore the aim of this investigation was the use of grinding masonry waste in the production of self-compacting concrete (SCC, vemos la referencia a la utilización de residuos de mampostería RM y arenas recicladas AR procedentes de los RCD como forma de mitigar el impacto medioambiental; analizando su caracterización química que suele tener similitudes entre los diferentes elementos que la componen. (de Oliveira Andrade, Possan, Squiavon, & Ortolan, 2018) these problems provide an incentive to develop recycling alternatives. In pursuit of such alternatives, this study compares the mechanical properties and carbonation depths of mortars produced with two different types of recycled aggregates (RAs (Saberian & Li, 2018).

Es interesante mencionar la importancia que tienen las arenas producto de la trituración de los RCD, porque su transformación y reciclaje minimizan un poco el gran impacto negativo generado por los residuos de construcción, evitando de esta manera que se desaprovechen y lleguen a fuentes naturales como ríos, humedales, lagos y mares e inclusive al espacio público. (Sierpe, 2016) Diferentes publicaciones e investigaciones científicas han demostrado que es posible incorporar en alto grado este tipo de fracción fina de material.

Como se aprecia en la tabla 4 y 5 respectivamente, el contenido de óxido de silicio y óxido de calcio no difieren de su proporción y son los óxidos con más presencia dentro del material. Los autores analizan el cemento y su composición ya que este es la base para la conformación de una buena mezcla que según los resultados debe cumplir con todas las especificaciones para lo cual se utilizará.

Los dos tipos de cemento expuesto fueron: cemento portland (Tabla 4) y cemento portland tipo II (Tabla 5); cabe destacar que este último tiene una resistencia media a los ataques del sulfato por lo cual lo hace especial para su uso en concretos expuestos al agua de mar. (Shi, Yu, Ma, Ni, & Shen, 2019) Recordemos que el cemento históricamente ha venido desarrollado a partir de la puzolana (Asensio de Lucas, Medina, Frías, & Sánchez de Rojas, 2016).

Tabla 4. Fluorescencia de Rayos X (FRX), Propiedades químicas del Cemento Portland y el Residuo de Mampostería.

<i>Características</i>	<i>CPO</i>	<i>RM</i>
<i>Composición Química, %</i>		
SiO ₂	19,13	54,09
Al ₂ O ₃	4,42	15,50
Fe ₂ O ₃	4,32	9,84
CaO	57,70	8,73
MgO	1,60	3,50
Na ₂ O	N.D	1,92
K ₂ O	0,28	1,29
TiO ₂	0,26	0,88
P ₂ O ₅	0,17	0,20
MnO	0,03	0,18
SO ₃	2,32	0,14

Fuente: Tomado de Y. Silva, R. Robayo, P. Matthey, and S. Delvasto, 2014.

Tabla 5. Propiedades químicas del Cemento Portland Tipo II usados en la obtención de morteros de albañilería usando arenas de RCD.

Elementos	CEM II 32,5 Mpa	AR	
Al ₂ O ₃	3,25	Al ₂ O ₃	6.98
CaO	60,1	CaO	10.67
Fe ₂ O ₃	2,56	Fe ₂ O ₃	1.22
K ₂ O	0,26	K ₂ O	2.16
MgO	1,75	MgO	0.54
SiO ₂	18,13	SiO ₂	68.2
TiO ₂	0,14	MnO	0.022
MnO	0,02	TiO ₂	0,15
P ₂ O ₅	0,16	P ₂ O ₅	0,10
Na ₂ O	0,22	Na ₂ O	0.22
PF (%)	11,85		

Fuente: Tomado de Y. Silva, R. Robayo, P. Matthey, and S. Delvasto, 2014.

Por otra parte, lo mismo ocurre con los residuos de mampostería RM y las arenas recicladas AR obtenidas de los RCD donde su porcentaje de (54,09 y 68,20 %) respectivamente y (8,73 y 10,67 %) tampoco tienen una diferencia considerable. A diferencia de los agregados naturales, los provenientes de los RCD contienen niveles más altos de compuestos quizás por que proceden de material ya procesado y expuesto a los diferentes factores ambientales.

Definitivamente el silicio es un compuesto que se encuentra en casi todas las rocas y es un mineral que influye en muchos aspectos en su constitución, aportando propiedades y características definidas como por ejemplo: un aumento considerable en la cohesión de las partículas del material, también provee un aumento en la densidad y como coadyuvante de la reducción de la permeabilidad (lo que es muy bueno para ciertas estructuras de concreto); es un componente importante en la reducción de la segregación que ocurre normalmente en cualquier tipo de mezcla ya que esta afecta negativamente promoviendo que los diferentes compuestos que la conforman se separen y no tengan una distribución uniforme. La sílice ayuda a minimizar la exudación la cual en el concreto tiene sus pros y sus contras; por mencionar su parte positiva hace referencia a la reducción de la relación agua y cemento lo que repercute de forma propicia sobre la resistencia de este.

El sílice también es responsable de la reducción del calor de hidratación, esto supone que para muchas estructuras de concreto como losas este calor generado por reacciones químicas no es preocupante porque se disipa con el medio ambiente sin embargo, para estructuras con grandes espesores así mismo será la cantidad de calor formado y si no se logra disipar de manera controlada y rápida, ocurrirá un aumento en la temperatura del concreto permitiendo la creación de tensiones, lo que significa esfuerzos de tensión (Sánchez de Rojas & Rivera, 2010), a continuación se describe en forma más detallada este proceso.

Como se denota en la Figura 9, se identifica el proceso evolutivo del calor de hidratación que tiene el cemento. En su etapa 1, corresponde a la hidrólisis inicial del Clinker, es decir el calor de humedecimiento, más exactamente en dos de sus componentes principales (Belita: hidratación del aluminato tricálcico (C3A) y Alita: silicato tricálcico 3 (C3S)). Seguido de esto ocurre la etapa 2, donde sucede el período de incubación referente al tiempo de fraguado inicial. Cumplida esta fase se da inicio a la etapa 3 donde se forma una reacción acelerada de los productos de hidratación que establece el endurecimiento y ayuda al tiempo de fraguado final, sin embargo, siguiendo con la etapa 4 hay una disminución de la aceleración en la formación de aquellos productos de hidratación que son determinantes en el aumento de resistencia inicial. Por último, en la etapa 5 se evidencia lentitud del proceso de evolución del calor.

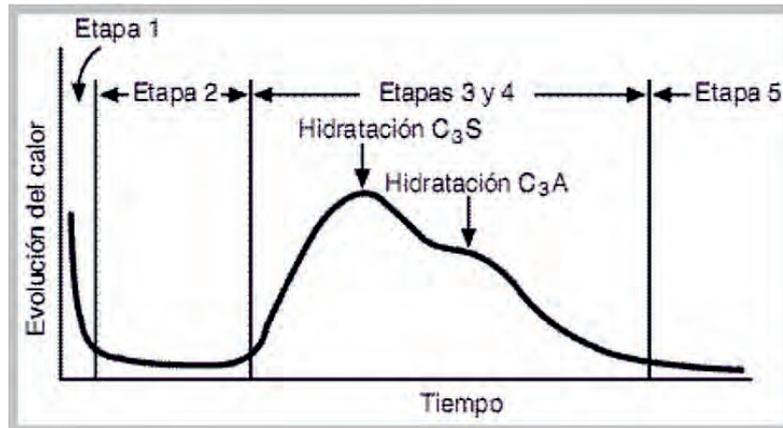


Figura 9. Evolución del calor en función del tiempo del cemento.

Fuente: Tomado de <http://notasdeconcretos.blogspot.com/2011/04/calor-de-hidratacion-del-hormigon.html>

4. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA

En este tipo de análisis se busca contrastar la calidad que tienen los agregados reciclados de construcción y demolición RCD con los de tipo natural y su estricta relación con el contenido de poros y específicamente las diferentes fases que lo componen porque de esta manera es posible identificar los tipos de minerales que lo constituyen. (Geng et al., 2018)

Usualmente todos los minerales son de carácter cristalino, pues entre sus componentes químicos disponen de átomos, iones, y moléculas, y es así que pueden desarrollar formas diferentes regulares. (Dupuy et al., 2018) Esta distribución regular comprende el espacio de los componentes del mineral, las cuales se describen a partir de las redes cristalinas.

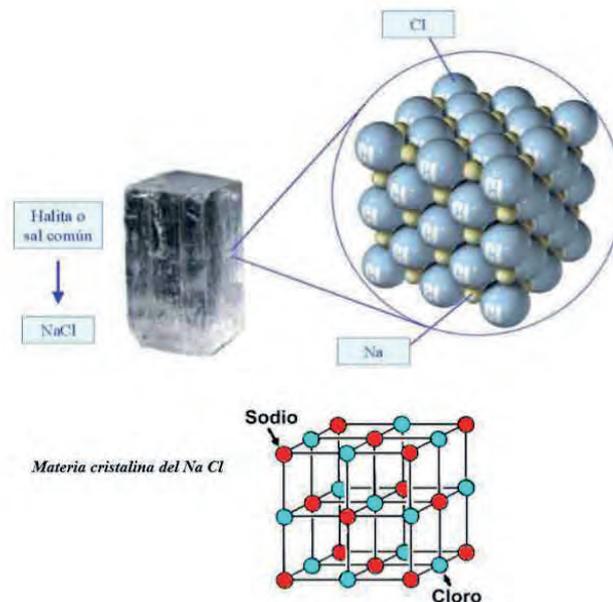


Figura 10. Esquema de la Fase cristalina del mineral de la Sal (NaCl).

Fuente: Tomado de (Valero, 2012).

A continuación, se muestra en detalle el análisis aplicado a dos casos de estudio que caracterizan mineralógicamente residuos RCD correspondientes a polvo de ladrillo y arenas recicladas para la fabricación de morteros de albañilería, (Silva et al., 2014) Colombia, produces approximately 15 million cubic meters each year of debris from construction. Therefore the aim of this investigation was the use of grinding masonry waste in the production of self-compacting concrete (SCC (González et al., 2015).

Para obtener la caracterización mineralógica del residuo de mampostería (RM), se realizó la Difracción de Rayos-X a partir de un difractor PAnalytical, modelo X'PertPRO con filtro de Nickel. En la Figura 10 se observa el difracto grama donde se puede ver los diferentes minerales asociados que componen al muestra de acuerdo con sus fases cristalinas como el cuarzo (Q), la Cordierita (C) y la Albita (A); cabe mencionar que esta fase se forma por la actividades y reacción exotérmica ("Permeabilidad y Porosidad en Concreto Resumen," n.d.), a elevadas temperaturas.

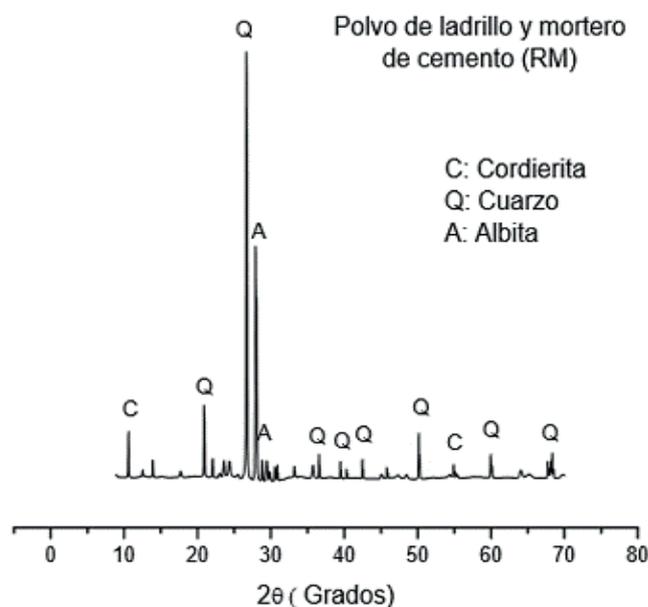


Figura 11. Esquema de difracción de rayos X de Residuos de RM.

Fuente: Tomado de (Silva et al., 2014) Colombia, produces approximately 15 million cubic meters each year of debris from construction. Therefore the aim of this investigation was the use of grinding masonry waste in the production of self-compacting concrete (SCC).

Podemos ver en el difractograma un pico de mayor intensidad el cual puede ser identificado con un ángulo propio $2\theta = 26,64^\circ$ lo cual permite interpretar que el mortero de cemento y el polvo de ladrillo poseen gran cantidad de Cuarzo.

Lo anterior es posible de determinar gracias a la función que cumple el difractor una herramienta especial que permite definir e identificar las fases cristalinas de los minerales. La distribución regular en el espacio de los componentes de los minerales se limita a unas redes cristalinas con unas características específicas de forma geométrica y las cuales se repiten formando todo el cuerpo del cristal del mineral. En otras palabras, es la forma como se ordenan los átomos y moléculas dando pie a la formación de una estructura sólida. (Francisco, Santander, Francisco, & Santander, 2018)

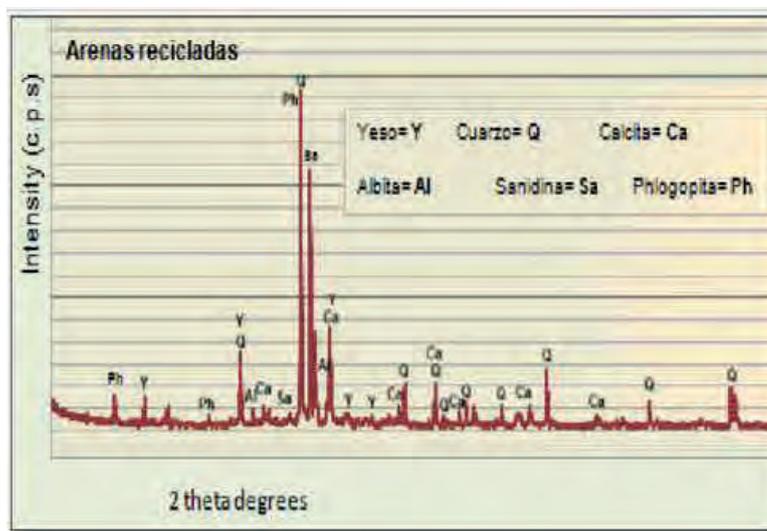


Figura 12. Esquema de difracción de rayos X de Residuos de RM.

Fuente: Tomado de (González et al., 2015).

En este caso específico se prevé que las diferentes fases mineralógicas encontradas no presentan un alto comportamiento cristalino si lo comparamos con el pico que representa el cuarzo (); debido a que son picos anchos y con bajas intensidades. Quizá esto se debe a los componentes que se forman en la hidratación del cemento presente en el concreto (Rius, 2017), por mencionar un ejemplo, y todos los materiales que se derivan de elementos cerámicos porque han sufrido todo tipo de transformación como la molienda. (Rcd, En, Área, & Almería, n.d.)

Ya que el mineral de cuarzo () es tan predominante en este tipo de análisis, podemos inferir que una alternativa para el uso de los RCD ricos en este mineral, reside en usarlos en suelos degradados (Loarte Cuenca, 2015), por la minería sobre todo artesanal donde se explota el suelo indiscriminadamente y de forma ilegal sin control, con el fin de mejorar todas sus propiedades fisicoquímicas y generar un gran aporte de nutrientes, ya sean , , , entre otros. (Fernea, Florea, Manea, Pășcuță, & Tămaș-Gavrea, 2018)

5. DISCUSIÓN

Basado en el análisis de la revisión bibliográfica se observa que, mediante las comparaciones hechas de los diferentes casos de estudio en sus respectivos tipos de caracterización del material, de tipo físico, químico y mineralógico; se apoya en gran medida el tratamiento que se les da a ellos porque se sabe lo importante y fundamental que es trabajar con materiales de excelente calidad y por otro lado la responsabilidad de reciclar. Sin embargo, dependiendo del caso se estima que no solo se debe centrar siempre en un único análisis respectivo sino tener una segunda opinión por ejemplo cuando se caracteriza un árido proveniente de residuos de demolición, es factible poder obtener los resultados de los análisis mediante dos fuentes diferentes porque esto incrementa un poco la asertividad y buen desarrollo del ensayo.

Una de las ventajas de trabajar con los RCD es el aprovechamiento de un 80% del total del material y caracterizarlo de forma correcta permitirá su buen uso y disminución del impacto ambiental que genera por sus altos volúmenes y composiciones. Se evidencia en los diferentes

casos de estudio que se hace especial énfasis en la química del material porque su investigación permite ver la relación que hay entre la estructura y las propiedades de estos y lo cual da indicios de cómo se comportaran a futuro dado los diferentes factores que los atacan de forma directa e indirecta, es decir por la meteorización que ocurre por medio de la descomposición y desgaste debido al contacto con el medio ambiente, atmósfera, cambios climáticos, variaciones de temperatura y su resistencia y durabilidad frente a ellos.

El mundo está compuesto por rocas que a su vez son el producto de la asociación de muchos minerales de forma natural y que se han formado mediante un proceso evolutivo en algunos casos muy lento; por eso técnicas como la (FRX) Fluorescencia de Rayos X y el (DRX) Análisis de Difracción de Rayos X propuestas en los casos de estudio analizados anteriormente para la caracterización de algunos materiales cobran una alta importancia si se quiere profundizar el valor agregado que ellos puedan dar en el momento de ser utilizados en una obra civil. La tecnología avanza muy rápido y seguramente este tipo de técnicas se precisarán aún más lo cual es muy positivo porque son y serán herramientas muy indispensables en el desarrollo de la ciencia y la ingeniería civil.

Basado en lo anterior se puede definir la durabilidad como un factor fuerte e importante del material y que en muchos de los casos referentes a la construcción pasa inadvertida convirtiéndose en una problemática; por ejemplo, cuando se escoge un agregado pétreo, es común que los ingenieros civiles no conozcan las propiedades del mismo, puntualmente si se hace referencia al concreto, en él suceden ciertos tipos de reacciones muy negativas de alcalinidad que disminuyen la vida útil de la obra y adicional a eso las sales son otra causa de incidencia en el deterioro del material con diferencias en pérdidas de masa y velocidades de reacción según el caso.

Por otra parte, en materia de reciclar y reutilizar los RCD de manera sostenible se puede concluir que los ensayos practicados en los casos de estudio permiten ver que, si se puede aprovechar al máximo estos materiales de demolición y construcción recurriendo por ejemplo a su uso en agregados del concreto, del mortero, reemplazando un porcentaje adecuado, o como opción para la recuperación de suelos. Describiendo a este último tema es importante ver que en los ensayos descritos se puede observar el gran porcentaje de mineral de cuarzo que ellos obtienen y el cual es un ejemplo de mineral calificado por excelencia de tipo inerte y muy útil para mejorar las propiedades físicas del suelo; su uso potencial permite la bio – recuperación de los suelos sobre todo los que han sido degradados por la minería; sin embargo, debido a que el cuarzo es abundante en los granitos puede llegar a limitar su uso como material en carpetas asfálticas por su gran afinidad con el agua y por ende influyendo respecto a la capacidad de adherencia (repele) de estas carpetas. Este tipo de RCD contienen los elementos necesarios que logran complementar la nutrición de las plantas y los microorganismos presentes en diferentes terrenos.

6. CONCLUSIONES

Comúnmente los ingenieros civiles en la mayoría de los casos solo se enfocan en la parte física y mecánica del material donde se concentran en evaluar si el material cumple solamente con las especificaciones y normatividad técnica actuales para que sus construcciones y obras civiles tengan la mejor calidad solo desde este punto de vista. Pero dejan de un lado parte fundamental del estudio y análisis de estas obras como la relación que existe entre sus propiedades y estructura química, que es de vital importancia porque supone a futuro la comprensión de la resistencia y durabilidad que pueda ofrecer el material que las conforman.

En cuestión de la disposición de los RCD hay una problemática a nivel mundial, que

concierno a la población en general puesto que afecta su manera de vivir y desarrollarse en su entorno, ocasionado todo tipo de virus y enfermedades que pueden mermar y vulnerar su estado de salud. Las personas son por naturaleza seres con un método de consumo donde todo lo que utilizan y transforman genera siempre un residuo que a su vez influye en el flujo que se crea en las ciudades denominado metabolismo urbano.

Los profesionales dedicados a la ingeniería de la construcción deben hacer uso de todas las técnicas de caracterización de los materiales para dar un buen uso de los residuos y aprovecharlos al máximo teniendo en cuenta que su impacto medioambiental sea el mínimo posible y por ende el más amigable con el planeta.

De la misma manera, deben seguir contribuyendo al estudio de las distintas alternativas que puedan dar al uso de los RCD Residuos de Construcción y Demolición porque esto permitiría disminuir la explotación y consumo que se le están haciendo a todas las fuentes no renovables del planeta, además no se debe encasillar el estudio de los materiales solo como el tema especial de los geólogos y demás profesionales de este tema, sino trabajar conjuntamente con ellos para complementar conocimientos y poder así proponer y dar soluciones objetivas.

Es importante que los ingenieros civiles comprendan la importancia de las diferentes técnicas usadas para identificar los diferentes minerales, no precisamente en un contexto profundo o en la complejidad que implica una observación geológica sino abordarlo de forma básica porque seguramente de esta manera les dará herramientas claves y manejar conceptos más claros.

7. GLOSARIO

Árido: en el terreno de la construcción, por último, se llama árido a un material rocoso compuesto por granos o partículas. Los áridos presentan una elevada resistencia

mecánica y una gran estabilidad desde el punto de vista químico. Fuente: <https://definicion.de/arido/>

Diabasa: llamada también como dolerita, es comúnmente conocida como «granito negro» es una roca ígnea intrusiva de granulado fino a medio, con muchos cristales de color gris oscuro o negro. El nombre diabasa deriva del griego διὰ = a través de βάσις = que sale, para resultar en que sale a través de otra roca. Se trata de una roca extremadamente dura y resistente, siendo por lo común extraída de la cantera para grava. Fuente: <https://educalingo.com/es/dic-es/diabasa>

Exudación: Ascensión de agua de amasado hacia la superficie del hormigón fresco tras la separación de esta de la pasta de cemento. Este fenómeno puede deberse a diferentes motivos, entre ellos, debido a la sedimentación de sus componentes sólidos o por el drenaje del agua de amasado.

Fuente: <https://www.construmatica.com/construpedia/Exudación>

Fractografía: también llamada mecánica de la fractura es una rama de la mecánica de sólidos deformables ocupada del estudio de la estabilidad estructural de los materiales, considerando la formación y propagación de grietas o defectos y analizando condiciones tensionales con la concentración de tensiones debida a dichos efectos. Fuente: <https://www.simet.cl/fractografia.php>

Gradación: proceso mediante el cual se determina la proporción en que participan los diferentes tipos de granos, en función de sus tamaños (Granulometría), gradación del suelo. Fuente: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1864/4/cap3.pdf>

Masa Unitaria: es la masa del material necesaria para llenar un recipiente de volumen unitario. En la masa unitaria además del volumen de las partículas del agregado se tiene en cuenta los vacíos que hay entre partículas.



Fuente: (Nathalie Hurtado López, Merly A. Ropero Escobar, Carlos A. Vega Pérez, 2014) the unit weight may also be used to determine the mass / volume relationships for purchase agreements. However, the relationship between the degree of compaction of the aggregates on a carrying unit or a stack of storage and thus determined is unknown. Likewise, aggregates hauling units or storage batteries usually contain absorbed and surface moisture (the latter affects the volumetric analysis)

Materia Homogénea: La materia homogénea es aquella cuyos componentes no pueden ser distinguidos ni por el ojo humano ni por un microscopio convencional u ordinario. Fuente: http://quimicaunouc.blogspot.com/p/blog-page_12.html
Residuos inertes: son los que no presentan ningún riesgo de polución del agua, del suelo y el aire. aquellos residuos no peligrosos que no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas. Los residuos inertes no son solubles ni combustibles, ni reaccionan física ni químicamente ni de ninguna otra manera, ni son biodegradables, ni afectan negativamente a otras materias con las cuales entran en contacto de forma que puedan dar lugar a contaminación del medio ambiente o perjudicar a la salud humana. Fuente: <https://www.ucm.es/data/cont/docs/3-2014-12-17-Tema%207.%20Residuos.pdf>

Pétreo: Los materiales pétreos utilizados como material son las rocas. Éstas son agregados de partículas minerales muy grandes y sin forma determinada que se encuentran en la naturaleza. Son ejemplos, los granitos, mármoles y pizarras. Estos son materiales muy apreciados en la construcción, por ser muy resistentes a las condiciones medioambientales, pero presentan el inconveniente de tener un coste alto.

Fuente: https://www.edu.xunta.es/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947174/contido/61_materiales_ptreos.html

Puzolana: roca volcánica muy fragmentada y de composición basáltica; las puzolanas son materiales silíceos o alumino-silíceos a partir de los cuales se producía históricamente el cemento, desde la antigüedad romana hasta la invención del cemento Portland en el siglo XIX. Hoy en día el cemento puzolánico se considera un ecomaterial. Fuente: <https://es.oxforddictionaries.com/definicion/puzolana>

8. REFERENCIAS

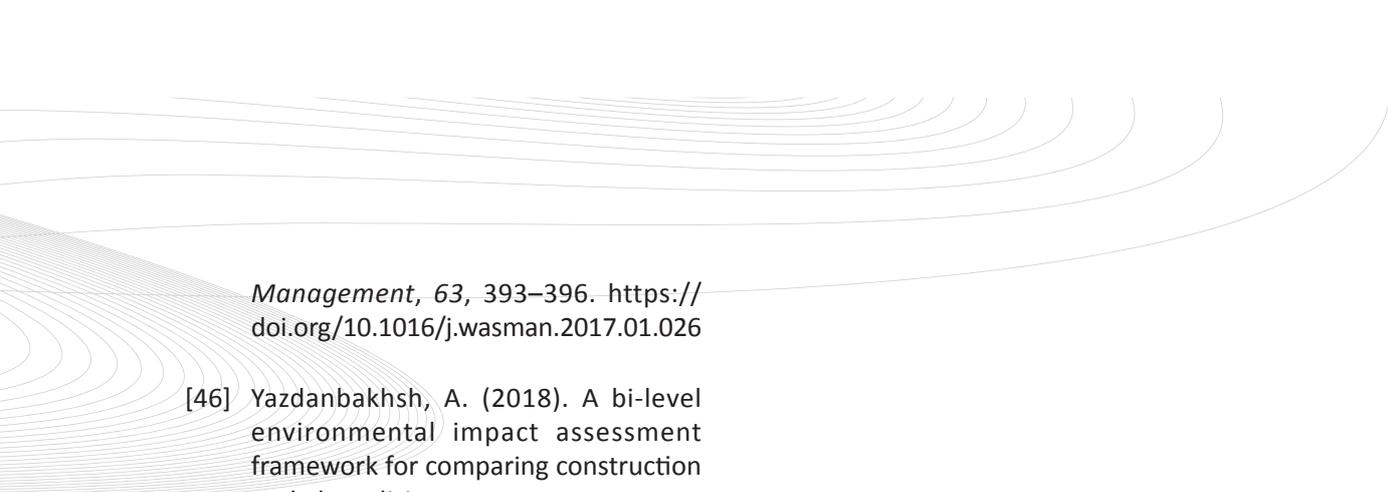
- [1] Acosta, D. (2013). Reducción y gestión de residuos de la construcción y demolición (RCD). *Tecnología y Construcción*. 2622–2626. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.10.141>
- [2] Alvarez, D. A., Martínez, R. M., & Guerra, G. G. (2017). Influencia de la utilización del RCD como árido en mezclas asfálticas en caliente. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 11(1), 1–14.
- [3] Ansari, M., & Ehrampoush, M. H. (2018). Quantitative and qualitative analysis of construction and demolition waste in Yazd city, Iran. *Data in Brief*, 21, 2622–2626. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.10.141>
- [4] Asensio de Lucas, E., Medina, C., Frías, M., & Sánchez de Rojas, M. I. (2016). Clay-based construction and demolition waste as a pozzolanic addition in blended cements. Effect on sulfate resistance. *Construction and Building Materials*, 127, 950–958. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.10.047>
- [5] Blaisi, N. I. (2019). Construction and demolition waste management in

- Saudi Arabia: Current practice and roadmap for sustainable management. *Journal of Cleaner Production*, 221, 167–175. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.264>
- [6] Castaño, J. O., Misle Rodríguez, R., Gómez Cabrera, A., Lasso, L. A., & Ocampo, M. S. (2015). Gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en Bogotá: perspectivas y limitantes. *Revista Tecnura*. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2013.4.a09>
- [7] de Oliveira Andrade, J. J., Possan, E., Squiavon, J. Z., & Ortolan, T. L. P. (2018). Evaluation of mechanical properties and carbonation of mortars produced with construction and demolition waste. *Construction and Building Materials*, 161, 70–83. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.089>
- [8] Dupuy, C., Gharzouni, A., Sobrados, I., Texier-Mandoki, N., Bourbon, X., & Rossignol, S. (2018). Thermal resistance of argillite based alkali-activated materials. Part 2: Identification of the formed crystalline phases. *Materials Chemistry and Physics*, 218(July), 262–271. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2018.07.036>
- [9] Eia, R. (2016). *Resíduos De La Construcción : Construction Waste : an Option for Soil Recovery Resíduos De Construção : Uma Opção Para a Recuperação Dos Solos*. 55–60.
- [10] Enrique Rivva López. (2000). Concrete-Materials-NATURALEZA-Y-MATERIALES-DEL-CONCRETO.pdf. *La Naturaleza Del Concreto*, pp. 12–15.
- [11] Fernea, R., Florea, I., Manea, D. L., Pășcuță, P., & Tămaș-Gavrea, D. R. (2018). X-ray diffraction study on new organic-natural building materials. *Procedia Manufacturing*, 22, 372–379. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.056>
- [12] Francisco, U., Santander, D. P., Francisco, U., & Santander, D. P. (2018). *CARACTERIZACIÓN TÉRMICA DE MEZCLAS DE ARCILLAS UTILIZADAS EN LA FABRICACIÓN DE PRODUCTOS DE MAMPOSTERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN*.
- [13] Gálvez-Martos, J. L., Styles, D., Schoenberger, H., & Zeschmar-Lahl, B. (2018). Construction and demolition waste best management practice in Europe. *Resources, Conservation and Recycling*, 136(April), 166–178. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.04.016>
- [14] Geng, G., Li, J., Zhou, Y., Liu, L., Yan, J., Kunz, M., & Monteiro, P. J. M. (2018). A high-pressure X-ray diffraction study of the crystalline phases in calcium aluminate cement paste. *Cement and Concrete Research*, 108(September 2017), 38–45. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.03.004>
- [15] González, M., Codirector, C., & Fernández Martínez, F. (2015). *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID Utilización de arenas procedentes de Residuos de Construcción y Demolición, RCD, en la fabricación de morteros de albañilería*.
- [16] Guarín Cortéz, N. L., Montenegro Roa, L. Y., Walteros Galarza, L. H., & Reyes Gómez, S. T. (2011). Estudio comparativo en la gestión de residuos de construcción y demolición en Brasil y Colombia. *Revista Gestión En Ingeniería Neogranadina*.
- [17] Guo, Y., Markine, V., Song, J., & Jing, G. (2018). Ballast degradation: Effect of particle size and shape using Los Angeles Abrasion test and image analysis. *Construction and Building Materials*, 169,

414–424. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.170>

- [18] Ismael Fuente Merino. (2015). *Puesta a punto de un equipo de fluorescencia de rayos X portátil con fuentes radiactivas: Aplicaciones medioambientales*. 234.
- [19] León, M. P., & Ramírez, F. (2010). Caracterización morfológica de agregados para concreto mediante el análisis de imágenes Morphological characterization of concrete aggregates by means of image analysis. *Revista Ingeniería de Construcción*, 25, 215–240.
- [20] Letelier, V., Osses, R., Valdés, G., & Moricom, G. (2015). Methodologies to Improve the Mechanical Properties of Structural Concrete with Recycled Aggregates. *Ingeniería y Ciencia*, 10(19), 179–195. <https://doi.org/10.17230/ingciencia.10.19.9>
- [21] Loarte Cuenca, C. L. (2015). Determinación de la calidad del suelo, mediante la caracterización física, química y biológica, para proponer un plan de recuperación de suelos en la comunidad Sacha Runa, Parroquia Shell, Cantón Mera, Provincia de Pastaza Universidad Nacional de Loja. *Tesis de Pregrado*, 62. <https://doi.org/10.1017/S0010417500000463>
- [22] López, L. M. V. (2010). *Formulación De Una Propuesta De Gestión Ambiental Para La Recuperación Y Reciclaje De Materiales De Construcción Y Demolición*.
- [23] Madi, N., & Srour, I. (2019). Managing emergency construction and demolition waste in Syria using GIS. *Resources, Conservation and Recycling*, 141(July 2018), 163–175. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.018>
- [24] Matthey, P., Robayo-Salazar, R., Silva, Y., Alvarez, N., & Delvasto, S. (2014). Physical and mechanical characteristics of recycled aggregate obtained from construction and demolition waste. *Informador Técnico*, 78(2), 121–127. <https://doi.org/https://doi.org/10.23850/22565035.95>
- [25] Mejía Restrepo, E., Osorno Bedoya, L., & Osorio Vega, N. W. (2015). Residuos de la construcción: Una opción para la recuperación de suelos. *Revista EIA (Escuela de Ingeniería de Antioquia)*.
- [26] Menegaki, M., & Damigos, D. (2018). A review on current situation and challenges of construction and demolition waste management. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 13, 8–15. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2018.02.010>
- [27] Montero, J., & Laserna, S. (2017). Influence of effective mixing water in recycled concrete. *Construction and Building Materials*, 132, 343–352. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.006>
- [28] Nathalie Hurtado Lopez, Merly A. Roperro Escobar, Carlos A. Vega Perez, J. G. (2014). *Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partícula de agregados*.
- [29] Pradhan, S., Kumar, S., & Barai, S. V. (2019). Recycled aggregate concrete: Particle packing method (PPM) of mix design approach. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 11, 759–771. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0362-3_62
- [30] Rcd, D., En, G., Área, E. L., & Almería, M. D. E. (n.d.). *Comportamiento de los materiales secundarios, derivados de los residuos de construcción y demolición (rcd) generados en el área metropolitana de almería*. 1259–1267.

- [31] Rius, A. (2017). *Caracterización del hormigón estructural con propiedades de captación de CO₂*. 71.
- [32] Rocha-vargas, D. C., Becerra, J. E. B., Benavente-, D., & Cañaveras-, J. C. (2019). *comportamiento mecánico de rocas naturales tipo " Piedra Bogotana " y " Mármol Royal Bronze " utilizadas en construcciones mechanical behavior of natural stones as " Piedra Bogotana " and " Marmol Royal Bronze " used in heritage buildings and new constru. xx(x), 203–222. <https://doi.org/10.18273/revuin.v18n3-2019021>*
- [33] Saberian, M., & Li, J. (2018). Investigation of the mechanical properties and carbonation of construction and demolition materials together with rubber. *Journal of Cleaner Production, 202*, 553–560. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.183>
- [34] Salvador, U. D. E. E. L. (2013). " *EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DE MÓDULOS DE HIDRÁULICO UTILIZADOS EN PAVIMENTOS RÍGIDOS.*
- [35] Sánchez de Rojas, M. I., & Rivera, J. (2010). Estudios sobre el calor de hidratación desarrollado en morteros con materiales puzolánicos: naturales y subproductos industriales. *Materiales de Construcción, 50*(260), 39–48. <https://doi.org/10.3989/mc.2000.v50.i260.389>
- [36] Sergio Luis Caicedo Campo, J. M. P. H. (2014). *Estudio del uso de agregados reciclados de residuos de construcción y demolición RCD provenientes de la ciudad de Cali como material para la construcción de elementos prefabricados de concreto, caso de los adoquines.*
- [37] Shi, H., Yu, Z., Ma, J., Ni, C., & Shen, X. (2019). Properties of Portland cement paste blended with coral sand powder. *Construction and Building Materials, 203*, 662–669. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.100>
- [38] Sierpe, Y. P. S. (2016). Reutilización de residuos de construcción en la fabricación de conglomerantes de activación alcalina. *Tesis Doctoral.*
- [39] Silva, Y., Robayo, R., Matthey, P., & Delvasto, S. (2014). Obtención de concretos autocompactantes empleando residuos de demolición. *Rev. LatinAm. Metal. Mat., 35*(1), 86–94.
- [40] Sormunen, P., & Kärki, T. (2019). Recycled construction and demolition waste as a possible source of materials for composite manufacturing. *Journal of Building Engineering, 24*(August 2018), 100742. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100742>
- [41] Ulubeyli, S., Kazaz, A., & Arslan, V. (2017). Construction and Demolition Waste Recycling Plants Revisited: Management Issues. *Procedia Engineering, 172*, 1190–1197. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.139>
- [42] URZOLA, G. A. B. (2016). *Lineamientos para la Gestión Ambiental de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) Generados en Barranquilla D.E.I.P.* 1–142.
- [43] Valero, F. J. P. (2012). Tema 2 : Fases de Los Minerales. *Universidad Autónoma de Madrid - Colegio Secundario En Murcia, España, IES Saaved, 1–34.*
- [44] Xu, Y. (2018). Fractal dimension of demolition waste fragmentation and its implication of compactness. *Powder Technology, 339*, 922–929. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.08.071>
- [45] Yang, H., Xia, J., Thompson, J. R., & Flower, R. J. (2017). Urban construction and demolition waste and landfill failure in Shenzhen, China. *Waste*
- 



Management, 63, 393–396. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.01.026>

- [46] Yazdanbakhsh, A. (2018). A bi-level environmental impact assessment framework for comparing construction and demolition waste management strategies. *Waste Management*, 77, 401–412. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.04.024>